

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 7 月 7 日 (07.07.2005)

PCT

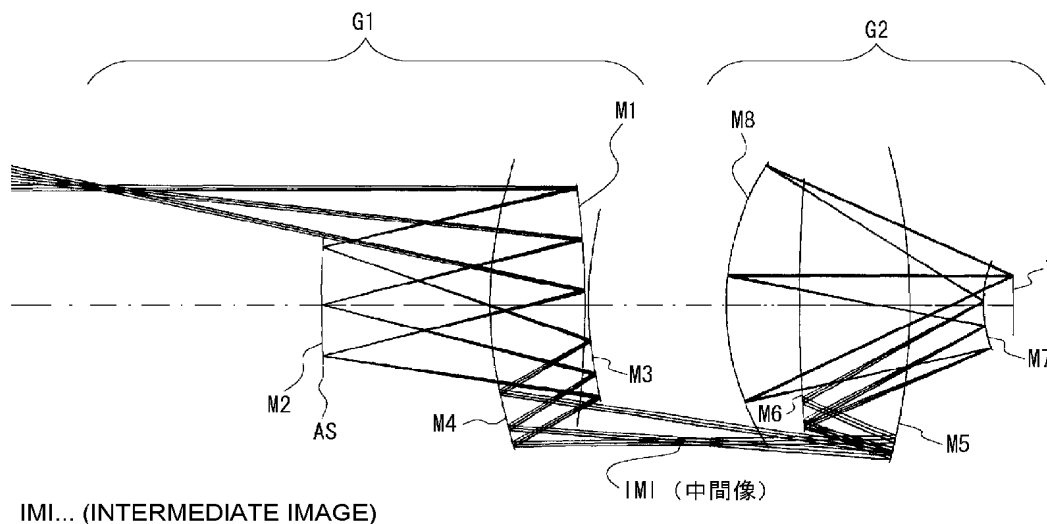
(10) 国際公開番号
WO 2005/062101 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 17/00 区丸の内三丁目 2 番 3 号株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/019097
- (22) 国際出願日: 2004 年 12 月 21 日 (21.12.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2003-426617
2003 年 12 月 24 日 (24.12.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高橋 友刀 (TAKA-HASHI, Tomowaki) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NL, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

[続葉有]

(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS WITH THE SAME

(54) 発明の名称: 投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置



IMI... (INTERMEDIATE IMAGE)

(57) Abstract: A projection optical system having eight reflecting mirrors and forming a reduced image of a first face (4) on a second face (7). The projection optical system has a first reflecting image forming optical system (G1) for forming an intermediate image of the first face and has a second reflecting image forming optical system (G2) for forming the intermediate image on the second face. The first reflecting image forming system has, from the first face side in the order of light incidence, a first reflecting mirror (M1), a second reflecting mirror (M2) having an aperture stop (AS), a third reflecting mirror (M3), and a fourth reflecting mirror (M4). The second reflecting image forming optical system (G2) has, from the first face side in the order of light incidence, a fifth reflecting mirror (M5), a sixth reflecting mirror (M6), a seventh reflecting mirror (M7), and an eighth reflecting mirror (M8). The structure above realizes a reflection-type projection optical system having excellent reflection characteristics even for X rays and capable of effectively correcting aberration with the reflecting mirrors prevented from increasing in size.

[続葉有]

WO 2005/062101 A1



BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 8つの反射鏡を備え、第1面(4)の縮小像を第2面(7)上に形成する投影光学系。第1面の中間像を形成するための第1反射結像光学系(G1)と、中間像の像を第2面上に形成するための第2反射結像光学系(G2)とを備えている。第1反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、第1反射鏡(M1)と開口絞り(AS)を備えた第2反射鏡(M2)と第3反射鏡(M3)と第4反射鏡(M4)とを有する。第2反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、第5反射鏡(M5)と第6反射鏡(M6)と第7反射鏡(M7)と第8反射鏡(M8)とを有する。これにより、X線に対しても良好な反射特性を有し、反射鏡の大型化を抑えつつ収差補正を良好に行うことのできる反射型の投影光学系が実現される。

明 細 書

投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置

技術分野

- [0001] 本発明は、投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置に関するものである。本発明は、例えばX線を用いてミラープロジェクション方式によりマスク上の回路パターンを感光性基板上に転写するX線投影露光装置に好適な反射型の投影光学系に関するものである。

背景技術

- [0002] 従来、半導体素子などの製造に使用される露光装置では、マスク(レチクル)上に形成された回路パターンを、投影光学系を介して、ウェハのような感光性基板上に投影転写する。感光性基板にはレジストが塗布されており、投影光学系を介した投影露光によりレジストが感光し、マスクパターンに対応したレジストパターンが得られる。
- [0003] ここで、露光装置の解像力 W は、露光光の波長 λ と投影光学系の開口数 NA とに依存し、次の式(a)で表わされる。

$$W = K \cdot \lambda / NA \quad (K: \text{定数}) \quad (a)$$

- [0004] したがって、露光装置の解像力を向上させるためには、露光光の波長 λ を短くするか、あるいは投影光学系の開口数 NA を大きくする必要がある。一般に、投影光学系の開口数 NA を所定値以上に大きくすることは光学設計の観点から困難であるため、今後は露光光の短波長化が必要となる。たとえば、露光光として、波長が248 nmのKrFエキシマレーザーを用いると0.25 μ mの解像力が得られ、波長が193 nmのArFエキシマレーザーを用いると0.18 μ mの解像力が得られる。これらのレーザー光より波長の短いX線を露光光として用いることにより、さらなる解像力の向上が可能となる。例えば波長が13 nmのX線を露光光として用いた場合には、0.1 μ m以下の解像力が得られる。
- [0005] ところで、露光光としてX線を用いる場合、使用可能な透過光学材料および屈折光学材料がなくなるため、反射型のマスクを用いるとともに、反射型の投影光学系を用いることになる。従来、露光光としてX線を用いる露光装置に適用可能な投影光学系

が、たとえば米国特許第5, 815, 310号明細書、対応日本出願の特開平9-211322号公報、米国特許第6, 183, 095B1号明細書、などに開示されている。また反射鏡を8枚使用した反射光学系が、米国特許第5, 686, 728号明細書、対応日本出願の特開平10-90602号公報、日本出願の特開2002-139672号公報などに種々の態様で開示されている。

[0006] 以上をまとめると、

特許文献1: 米国特許第5, 815, 310号明細書

特許文献2: 特開平9-211322号公報

特許文献3: 米国特許第6, 183, 095B1号明細書

特許文献4: 米国特許第5, 686, 728号明細書

特許文献5: 特開平10-90602号公報

特許文献6: 特開2002-139672号公報がある。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特開平9-211322号公報に開示された従来の反射光学系は、反射鏡を6枚備え、開口数NAが0. 25と比較的明るい光学系であるが、さらに明るいNAを達成することはできていない。

[0008] また米国特許第6, 183, 095B1号明細書に記載された第1実施例に係る反射光学系は、反射鏡を6枚備え、開口数NAが0. 25と比較的明るい光学系であるが、これもまたさらに明るいNAを達成することはできていない。さらに、8枚の反射鏡によって構成される反射光学系は、米国特許第5, 686, 728号明細書により公知となっている。この反射光学系は、0. 3以上と大きな開口数(NA)を確保しながらコンパクトにまとめられているものの、8枚の反射鏡の各面での光線入射角が 40° ~ 50° とあまりに大きい。このため、反射多層膜の設計が困難であり、また製造時の精度保証や、投影実行時の安定性に難点がある。

[0009] また、特開2002-139672号公報に記載の実施例に係る反射光学系では、反射鏡への光線の入射角はそれほど大きくないが、反射鏡の中心曲率が大き過ぎる。そのため、非球面反射鏡の形状誤差を検査するのに、有効な検査手段が存在せず、

検査が困難である。

[0010] 現在もっとも有効な検査手段はPDIと言われる方法である。PDIとは、ピンホールを通った光を反射鏡で反射させることにより行う検査手段である。PDIによって検査を行う場合、各反射鏡の曲率半径の絶対値がある程度小さい値の方が検査精度が良く、効果も高い。

[0011] 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、開口数(NA)が所定値以上である投影光学系及びそのような投影光学系を備えた露光措置を提供することを目的としている。また、本発明の投影光学系を露光装置に適用することにより、例えばX線を露光光として、大きな解像力を有する露光装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 前記課題を解決するために、本発明は、第1面の縮小像を第2面上に形成する投影光学系において、第1面の中間像を形成するための第1反射結像光学系と、中間像の像を第2面上に形成するための第2反射結像光学系を備え、第1反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、凹面の第1反射鏡と開口絞りを備えた凹面の第2反射鏡と凸面の第3反射鏡と凹面の第4反射鏡とを有し、第2反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、凹面の第5反射鏡と凹面の第6反射鏡と凸面の第7反射鏡と凹面の第8反射鏡とを有することを特徴とする投影光学系を提供する。

[0013] 第4反射鏡は、第2反射鏡と第3反射鏡の間の空間に配置されていることが好ましい。また、第3反射鏡と第4反射鏡の間の面間隔を d_1 とし、第2反射鏡と第3反射鏡の間の面間隔を d_2 とすると、 $0.2 < d_1/d_2 < 0.8$ の条件を満足することが好ましい。

[0014] また、全ての反射鏡の中心曲率半径の絶対値は300mm～5000mmの範囲を満足することが好ましい。また、第3反射鏡の中心曲率半径を R_3 とすると、 $400\text{mm} < R_3 < 2000\text{mm}$ の条件を満足することが好ましい。

[0015] また、第2反射鏡の中心曲率半径を R_2 とすると、 $0 < R_2 < 3000\text{mm}$ の条件を満足することが好ましい。さらに第6反射鏡の中心曲率半径を R_6 とすると、 $0 < R_6 < 4000\text{mm}$ の条件を満足することが好ましい。

[0016] また、像側開口数NAは、できるだけ解像力を向上させるために、少なくとも0.3以

上あることが好ましい。また、開口数NAは、0.45であることがさらに好ましい。

[0017] 本発明は、第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、マスクのパターンを第2面に設定された感光性基板上へ投影露光するための第1発明の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

[0018] 照明系は、露光光としてX線を供給するための光源を有し、投光学系に対してマスクおよび感光性基板を相対移動させて、マスクのパターンを感光性基板上に投影露光するが好ましい。

発明の効果

[0019] 本発明の投影光学系では、第2反射鏡に開口絞りASが配置されているので、開口絞り部材による光束のけられも出来るだけ回避でき、余裕をもって光束を導くことが出来る。また、第3反射鏡、第4反射鏡、第5反射鏡、第6反射鏡については、その曲率をある程度強くし収差補正に効果のある形状としたので、投影光学系は所定値以上の開口数を有することができる。

[0020] さらに、第3〜第6反射鏡の曲率を強くしたことで、投影光学系の各反射鏡の有効径を縮小させることができ、特に有効径が大きくなりがちな第4反射鏡の有効径も小さく抑えることができる。すなわち、本発明により、X線に対しても良好な反射特性を有し、反射鏡の大型化が抑えられつつ良好に収差補正のなされた反射型の投影光学系を実現することができる。

[0021] また、露光装置は、本発明の投影光学系を用いることにより、露光光としてX線を使用することができる。この場合、投影光学系に対してマスクおよび感光性基板を相対移動させて、マスクのパターンを感光性基板上へ投影露光することになる。

[0022] その結果、大きな解像力を有する走査型の露光装置を用いて、良好な露光条件のもとで、高精度なマイクロデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]図1は本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]図2はウェハ上に形成される円弧状の露光領域(すなわち実効露光領域)と光軸との位置関係を示す図である。

[図3]図3は本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。

[図4]図4は第1実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。

[図5]図5は本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。

[図6]図6は第2実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。

[図7]図7は本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。

[図8]図8は第3実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。

[図9]図9はマイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

符号の説明

[0024] 1 レーザプラズマX線源

2 波長選択フィルタ

3 照明光学系

4 マスク

5 マスクステージ

6 投影光学系

7 ウェハ

8 ウェハステージ

M1～M8 反射鏡

AS 開口絞り

IMI 中間像

発明を実施するための最良の形態

[0025] 本発明の投影光学系では、第1面(物体面)からの光が、第1反射結像光学系G1を介して、第1面の中間像を形成する。そして、第1反射結像光学系G1を介して形成された第1面の中間像からの光が、第2反射結像光学系G2を介して、中間像の像(第1面の縮小像)を第2面(像面)上に形成する。

[0026] ここで、本発明の投影光学系は、第1面からの光を反射するための第1凹面反射鏡M1と、第1反射鏡M1で反射された光を反射するための反射鏡であり開口絞りASを備えた第2凹面反射鏡M2と、第2反射鏡M2で反射された光を反射するための第3凸面反射鏡M3と、第3反射鏡M3で反射された光を反射するための第4凹面反射鏡

M4と、第5凹面反射鏡M5と、第5反射鏡M5で反射された光を反射するための第6凹面反射鏡M6と、第6反射鏡M6で反射された光を反射するための第7凸面反射鏡M7と、第7反射鏡M7で反射された光を反射するための第8凹面反射鏡M8とにより構成されている。

[0027] ここで、各反射鏡のパワーのちょっとした違いにより、投影光学系は、第1面の中間像がM4とM5との間に存在するような構成をとることも、あるいはM5とM6との間に存在するような構成をとることも可能である。したがって、第1面の中間像はM4とM6との間の光路中に存在することとなる。ただし、第1面の中間像の位置がどの反射鏡の間に存在するかはそれほど問題では無く、全体の光学系における反射鏡の凹凸の順序が重要である。

[0028] なお、第1面の中間像が反射鏡の極近傍に存在する時は、その反射鏡の鏡面上の微細構造や付着ゴミなどの像が投影像に重なる恐れがある。さらには、その反射鏡のパーシャル径(反射鏡上での光束の有効径)が小さくなり過ぎ、製造公差の点で問題になり易くもなる。そのため、第1面の中間像の位置は、各反射鏡から離れた位置になるようにしなければならない。

[0029] 本発明では、第1反射結像光学系G1を介して形成された第1面の中間像からの光が、第2反射結像光学系G2を介して、中間像の像(第1面の縮小像)を第2面(像面)上に形成する所謂2回結像光学系を採用している。該2回結像光学系は、物体側より光の入射順に、凹凹凸凹凹凹凸凹面鏡の反射鏡によって構成されており、このような配置にすることにより、該2回結像光学系では、各反射鏡の曲率半径の拡大を抑え、かつ各反射鏡への、光線入射角を抑えることが出来、かつ各反射鏡の有効径を抑えたコンパクトでNAの大きな光学系を開発することができた。

[0030] まず、第1反射結像光学系G1を構成する物体側から数えて最初の4枚の反射鏡について、凸面反射鏡を物体側から3番目の反射鏡に採用し、その周りを凹面反射鏡で囲む配置の構成とする。こうすることにより、大きくなりがちな反射鏡の有効径を抑えつつ、各反射鏡への入射光束の入射角を抑え、かつ、各反射鏡の中心曲率半径の絶対値を300mm〜5000mmの範囲に収めて、製造時の容易さを考慮にいたした設計が可能になったものである。

- [0031] さらに第2反射結像光学系G2を構成する4枚の反射鏡についても、凸面反射鏡を物体側から3番目の反射鏡に採用し、その周りを凹面反射鏡で囲む配置を構成することにより、大きくなりがちな反射鏡の有効径を抑えつつ、各反射鏡への入射光束の入射角を抑えることが出来る。しかも、各反射鏡の中心曲率半径の絶対値を300mm〜5000mmの範囲に収めて、製造時の容易さを考慮にいたした設計が可能になったものである。
- [0032] このように、複数で構成される凹面鏡の中に2枚の凸面鏡をバランス良く配置させることで、ペッツバール和を良好な値にすると共に、各収差を良好に補正することができ、高性能な光学系を得ることが出来るのみならず、反射鏡への光線入射角を小さく抑え、適切な曲率半径を持つ反射鏡の有効径を小さく抑えることが出来る。
- [0033] また全体光学系が縮小光学系であることから、第1反射結像光学系G1および第2反射結像光学系G2の物体側に凹面鏡を連続して用いることで、無理無く光束を像面に向かって導いている。したがって、本発明のような反射鏡の配置では、高NA、高性能、小反射鏡有効径、小反射面光線入射角、小反射面曲率半径の5拍子そろった光学系が達成できる。
- [0034] さらに、第2、第3、第4反射鏡の構成セットや、第6、第7、第8反射鏡の構成セットが、凹凸凹面鏡で形成されることにより、各反射鏡の中心曲率半径は、その絶対値が5000mm以上となるような大きな曲率半径でもなく、300mm以下となるような小さい曲率半径でもない、適切な曲率半径を維持する。さらに、各反射鏡において適切な中心曲率半径を維持しつつ、高NAでありながら、高い光学性能を有する光学系を達成することが出来る。
- [0035] さらに本発明では、第4反射鏡M4を第2反射鏡M2と第3反射鏡M3の間の空間に置き、第3反射鏡M3と第4反射鏡M4をそれぞれ強いパワーを持つ凸凹の反射光学系で構成し、第3反射鏡M3の中心曲率半径R3を400mm〜2000mmの範囲に収めて小さい値にすることにより、第3反射鏡M3と第4反射鏡M4は造り易く、また検査のし易いものとなり、小型で軽量の第1結像光学系を得ることが可能である。
- [0036] また、一般に反射面の曲率半径が大きくなって平面に近くなると精度良く製造することが困難になるが、曲率半径の大きい第2反射鏡M2の中心曲率半径R2が3000

mm以下に、そして第6反射鏡M6の中心曲率半径R6が4000mm以下に抑えられているので、反射面の製造を良好に行うことができる。

[0037] また、本発明では、第4反射鏡M4の位置が以下の条件式(1)を満足することが望ましい。ここで、d1は第3反射鏡M3と第4反射鏡M4の間の面間隔、d2は第2反射鏡M2と第3反射鏡M3の間の面間隔である。

[0038] $0.2 < d1/d2 < 0.8$ (1)

条件式(1)の下限値を下回ると、第3反射鏡M3への入射光束と第3反射鏡M3からの射出光束の分離が困難となるので、好ましくない。一方、条件式(1)の上限値を上回ると、第4反射鏡M4の径が大きくなり過ぎ好ましくない。

[0039] また、開口絞りを第2反射鏡M2の直前に置くことにより、光束のけられを回避した小型の光学系が得られ、また第1面の縮小像を第2面上に2回結像で形成する構成を採用することにより、歪曲収差(ディストーション)の補正を良好に行うことが出来、また、小型で結像倍率を1/4に保ちながら、良好な光学性能を実現することができる。

[0040] 以上のような配置を採用することにより、反射鏡の最大径が抑えられると共に、各反射鏡や開口絞りなどを光束のケラレもなく適切に配置することが出来る。

[0041] また、第3反射鏡M3及び第6反射鏡M6への光線の入射角を小さく抑えることにより、有効径が大きくなりがちな第4反射鏡M4及び第5反射鏡M5の有効径を小さく抑えることができる。

[0042] 以上のように、本発明では、X線に対しても良好な反射特性を有するとともに、反射鏡の大型化を抑えつつ収差補正を良好に行うことのできる反射型の投影光学系を実現することができる。

[0043] また、本発明では、第3反射鏡M3及び第6反射鏡M6への光線の最大入射角Aが、次の条件式(2)を満足することが望ましい。

$A < 30^\circ$ (2)

[0044] 条件式(2)の上限値を上回ると、反射多層膜への光線の最大入射角Aが大きくなり過ぎて、反射ムラが発生し易くなる上、十分に高い反射率を得ることができなくなるので好ましくない。

[0045] また、本発明では、第1面から第1反射鏡M1へ入射する光束の主光線の光軸に対

する傾き α が、次の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$5^{\circ} < |\alpha| < 10^{\circ} \quad (3)$$

[0046] 条件式(3)の上限値を上回ると、第1面に反射マスクを設置した場合に、反射による影の影響を受け易くなるので、好ましくない。一方、条件式(3)の下限値を下回ると、第1面に反射マスクを設置した場合に、入射光と反射光とが干渉するので、好ましくない。

[0047] また、本発明では、各反射鏡M1～M8の有効径 ϕM は、次の条件式(4)を満足することが望ましい。

$$\phi M \leq 700\text{mm} \quad (4)$$

[0048] 条件式(4)の上限値を上回ると、当該反射鏡の有効径が大きくなり過ぎて光学系が大型化するので、好ましくない。

[0049] また、本発明では、収差を良好に補正して光学性能を向上させるために、各反射鏡の反射面を光軸に関して回転対称な非球面状に形成し、各反射面を規定する非球面の最大次数を10次以上とすることが望ましい。また、投影光学系をこのような構成とすることにより、たとえば露光装置にこの投影光学系を適用する場合には、投影光学系の焦点深度内でウェハに凹凸があっても良好な結像が可能となる。

[0050] また、本発明の投影光学系を露光装置に適用することにより、露光装置は露光光としてX線を使用することができる。この場合、投影光学系に対してマスクおよび感光性基板を相対移動させて、マスクのパターンを感光性基板上へ投影露光することになる。その結果、大きな解像力を有する走査型の露光装置を用いて、良好な露光条件のもとで、高精度なマイクロデバイスを製造することが可能となる。

[0051] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

[0052] 図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図2は、ウェハ上に形成される円弧状の露光領域(すなわち実効露光領域)と光軸との位置関係を示す図である。図1において、投影光学系の光軸方向すなわち感光性基板であるウェハの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

- [0053] 図1の露光装置は、露光光を供給するための光源として、たとえばレーザプラズマX線源1を備えている。X線源1から射出された光は、波長選択フィルタ2を介して、照明光学系3に入射する。ここで、波長選択フィルタ2は、X線源1が供給する光から、所定波長(13.5nm)のX線だけを選択的に透過させ、他の波長光の透過を遮る特性を有する。
- [0054] 波長選択フィルタ2を透過したX線は、複数の反射鏡から構成される照明光学系3を介して、転写すべきパターンが形成された反射型のマスク4を照明する。マスク4は、そのパターン面がXY平面に沿って延びるように、Y方向に沿って移動可能なマスクステージ5によって保持されている。そして、マスクステージ5の移動は、図示を省略したレーザ干渉計により計測されるように構成されている。こうして、マスク4上には、Y軸に関して対称な円弧状の照明領域が形成される。
- [0055] 照明されたマスク4のパターンからの光は、反射型の投影光学系6を介して、感光性基板であるウェハ7上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、ウェハ7上には、図2に示すように、Y軸に関して対称な円弧状の露光領域が形成される。図2に示すように、光軸AXを中心とした半径 ϕ を有する円形状の領域(イメージサークル)IF内において、このイメージサークルIFに接するようにX方向の長さがLXでY方向の長さがLYの円弧状の実効露光領域ERが設定されている。
- [0056] ウェハ7は、その露光面がXY平面に沿って延びるように、X方向およびY方向に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ8によって保持されている。なお、ウェハステージ8の移動は、マスクステージ5と同様に、図示を省略したレーザ干渉計により計測されるように構成されている。こうして、マスクステージ5およびウェハステージ8をY方向に沿って移動させながら、すなわち投影光学系6に対してマスク4およびウェハ7をY方向に沿って相対移動させながらスキャン露光(走査露光)を行うことにより、ウェハ7の1つの露光領域にマスク4のパターンが転写される。
- [0057] このとき、投影光学系6の投影倍率(転写倍率)が $1/4$ である場合、ウェハステージ8の移動速度をマスクステージ5の移動速度の $1/4$ に設定して同期走査を行う。また、ウェハステージ8をX方向およびY方向に沿って二次元的に移動させながら走査露光を繰り返すことにより、ウェハ7の各露光領域にマスク4のパターンが逐次転写され

る。以下、第1実施例ー第3実施例を参照して、投影光学系6の具体的な構成について説明する。

[0058] 各実施例において、投影光学系6は、マスク4のパターンの中間像を形成するための第1反射結像光学系G1と、マスクパターンの中間像の像(マスク4のパターンの二次像)をウェハ7上に形成するための第2反射結像光学系G2とから構成されている。ここで、第1反射結像光学系G1は4つの反射鏡M1ーM4から構成され、第2反射結像光学系G2は4つの反射鏡M5ーM8から構成されている。ただし、中間像がM5とM6の間にある場合は、第1反射結像光学系G1は5つの反射鏡M1ーM5から構成され、第2反射結像光学系G2は3つの反射鏡M6ーM8から構成される。

[0059] なお、各実施例において、すべての反射鏡の反射面が光軸に関して回転対称な非球面状に形成されている。また、各実施例において、第2反射鏡M2の直前に、開口絞りASが配置されている。さらに、各実施例において、投影光学系6は、ウェハ側(像側)にテレセントリックな光学系である。

[0060] また、各実施例では、第3反射鏡M3が第1反射鏡M1に対して像面側の空間に配置されているが、これに限らず第3反射鏡M3が第1反射鏡M1に対して物体側の空間に配置されていても同様の作用を得ることもできる。

[0061] 各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式(b)で表される。

(数1)

$$z = (y^2/r) / \{1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}\} \\ + C4 \cdot y^4 + C6 \cdot y^6 + C8 \cdot y^8 + C10 \cdot y^{10} + \dots \quad (b)$$

実施例 1

[0062] 図3は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。図3を参照すると、第1実施例の投影光学系では、マスク4(図3では不図示)からの光は、第1反射結像光学系G1を構成する第1凹面反射鏡M1の反射面、第2凹面反射鏡M2の反射面、第3凸面反射鏡M3の反射面、および第4凹面反射鏡M4の反射面

で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。そして、第1反射結像光学系G1を介して形成されたマスクパターンの中間像からの光は、第2反射結像光学系G2を構成する第5凹面反射鏡M5の反射面、第6凹面反射鏡M6の反射面、第7凸面反射鏡M7の反射面、および第8凹面反射鏡M8の反射面で順次反射された後、ウェハ7上にマスクパターンの縮小像(二次像)を形成する。

[0063] 次の表(1)に、第1実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。表(1)において、 λ は露光光の波長を、 β は投影倍率を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、H0はマスク4上における最大物体高を、 ϕ はウェハ7上でのイメージサークルIFの半径(最大像高)を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法をそれぞれ表している。

[0064] また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの反射面の順序を、rは各反射面の頂点曲率半径(mm)を、dは各反射面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。上述の表記は、以降の表(2)および表(3)においても同様である。

[0065] (表1)

(主要諸元)

$\lambda = 13.5 \text{ nm}$

$\beta = 1/4$

NA=0.45

H0=176mm

$\phi = 44 \text{ mm}$

LX=26mm

LY=2mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d
(マスク面)		662.549

1	-1230. 87	-363. 363	(第1反射鏡M1)
2	∞	0. 0	(開口絞りAS)
3	1395. 55	368. 052	(第2反射鏡M2)
4	530. 476	-135. 541	(第3反射鏡M3)
5	623. 557	474. 733	(第4反射鏡M4)
6	-989. 927	-150. 0	(第5反射鏡M5)
7	2502. 814	250. 0	(第6反射鏡M6)
8	197. 676	-350. 0	(第7反射鏡M7)
9	414. 860	390. 0	(第8反射鏡M8)

(ウェハ面)

(非球面データ)

1面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.160791 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.282672 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.545500 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.916171 \times 10^{-23}$$

$$C12 = 0.119454 \times 10^{-27} \quad C14 = -0.928728 \times 10^{-33}$$

$$C16 = 0.251527 \times 10^{-38}$$

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.136607 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.302584 \times 10^{-13}$$

$$C8 = -0.669941 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.246947 \times 10^{-22}$$

$$C12 = 0.547010 \times 10^{-27} \quad C14 = -0.114715 \times 10^{-30}$$

$$C16 = 0.494514 \times 10^{-35}$$

3面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.738544 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.155467 \times 10^{-14}$$

$$C8 = -0.602031 \times 10^{-18} \quad C10 = 0.319940 \times 10^{-22}$$

$$C12 = -0.139342 \times 10^{-26} \quad C14 = 0.331308 \times 10^{-31}$$

$$C16 = -0.327571 \times 10^{-36}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.133963 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.100476 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.146111 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.650862 \times 10^{-23}$$

$$C12 = 0.119928 \times 10^{-27} \quad C14 = -0.121905 \times 10^{-32}$$

$$C16 = 0.404355 \times 10^{-38}$$

5面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.333932 \times 10^{-9} \quad C6 = 0.345374 \times 10^{-14}$$

$$C8 = -0.824930 \times 10^{-18} \quad C10 = 0.252988 \times 10^{-22}$$

$$C12 = -0.404419 \times 10^{-27} \quad C14 = 0.341315 \times 10^{-32}$$

$$C16 = -0.120715 \times 10^{-37}$$

6面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.100336 \times 10^{-08} \quad C6 = -0.529486 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.140715 \times 10^{-17} \quad C10 = -0.372963 \times 10^{-22}$$

$$C12 = 0.717139 \times 10^{-27} \quad C14 = -0.839961 \times 10^{-32}$$

$$C16 = 0.437932 \times 10^{-37}$$

7面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.509744 \times 10^{-8} \quad C6 = 0.231566 \times 10^{-11}$$

$$C8 = -0.823302 \times 10^{-16} \quad C10 = -0.536424 \times 10^{-20}$$

$$C12 = 0.763865 \times 10^{-24} \quad C14 = -0.139661 \times 10^{-27}$$

$$C16 = -0.138918 \times 10^{-31}$$

8面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.102876 \times 10^{-09} \quad C6 = 0.768125 \times 10^{-15}$$

$$C8=0.490135 \times 10^{-20} \quad C10=0.270578 \times 10^{-25}$$

$$C12=0.221937 \times 10^{-30} \quad C14=0.144064 \times 10^{-36}$$

$$C16=0.166581 \times 10^{-40}$$

(条件式対応値)

$$\phi M5 = 453.46 \text{ mm}$$

$$\phi M4 = 414.15 \text{ mm}$$

$$(1) A(M3) = 19.63^\circ ; A(M6) = 26.1^\circ$$

$$(2) |\alpha| = 6.53^\circ \quad (114.00 \text{ mrad})$$

$$(3) \phi M = 453.46 \text{ mm (第5反射鏡M5において最大)}$$

[0066] 図4は、第1実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。図4(a)では像高100%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図4(b)では像高98%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図4(c)では像高95%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を示している。図4に示した収差図から明らかなように、第1実施例では、実効露光領域ERに対応する領域においてコマ収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、実効露光領域ERに対応する領域において、コマ収差以外の他の諸収差、たとえば球面収差やディストーションなども良好に補正されていることが確認されている。

実施例 2

[0067] 図5は、本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。図5を参照すると、第2実施例の投影光学系においても第1実施例と同様に、マスク4(図5では不図示)からの光は、第1反射結像光学系G1を構成する第1凹面反射鏡M1の反射面、第2凹面反射鏡M2の反射面、第3凸面反射鏡M3の反射面、および第4凹面反射鏡M4の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。そして、第1反射結像光学系G1を介して形成されたマスクパターン中間像からの光は、第2反射結像光学系G2を構成する第5凹面反射鏡M5の反射面、第6凹面反射鏡M6の反射面、第7凸面反射鏡M7の反射面、および第8凹面反射鏡M8の反射面で順次反射された後、ウェハ7上にマスクパターンの縮小像(二次像)を形成する。

[0068] 次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。

[0069] (表2)

(主要諸元)

$$\lambda = 13.5 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$\text{NA} = 0.4$$

$$\text{H0} = 168 \text{ mm}$$

$$\phi = 42 \text{ mm}$$

$$\text{LX} = 26 \text{ mm}$$

$$\text{LY} = 2 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	
	(マスク面)	698.162435	
1	-1168.68	0.0	(第1反射鏡M1)
2	∞	-349.53	(開口絞りAS)
3	1691.18	360.42	(第2反射鏡M2)
4	454.48	-127.91	(第3反射鏡M3)
5	559.35	653.98	(第4反射鏡M4)
6	-1004.95	-150.0	(第5反射鏡M5)
7	3626.96	260.27	(第6反射鏡M6)
8	218.57	-365.86	(第7反射鏡M7)
9	434.39	405.86	(第8反射鏡M8)

(ウェハ面)

(非球面データ)

1面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\text{C4} = 0.124299 \times 10^{-8} \quad \text{C6} = -0.189727 \times 10^{-13}$$

$$\text{C8} = 0.294028 \times 10^{-18} \quad \text{C10} = -0.433801 \times 10^{-23}$$

$$C12=0.548824 \times 10^{-28} \quad C14=-0.427489 \times 10^{-33}$$

$$C16=0.966411 \times 10^{-39}$$

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4=-0.174984 \times 10^{-8} \quad C6=-0.342044 \times 10^{-13}$$

$$C8=-0.680805 \times 10^{-18} \quad C10=-0.974110 \times 10^{-22}$$

$$C12=0.189816 \times 10^{-25} \quad C14=-0.274840 \times 10^{-29}$$

$$C16=0.155407 \times 10^{-33}$$

3面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4=-0.666006 \times 10^{-8} \quad C6=-0.371744 \times 10^{-14}$$

$$C8=-0.344088 \times 10^{-18} \quad C10=0.609375 \times 10^{-23}$$

$$C12=0.103068 \times 10^{-28} \quad C14=-0.827732 \times 10^{-32}$$

$$C16=0.172278 \times 10^{-36}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4=-0.103073 \times 10^{-8} \quad C6=-0.608918 \times 10^{-14}$$

$$C8=0.662326 \times 10^{-19} \quad C10=-0.265340 \times 10^{-23}$$

$$C12=0.446041 \times 10^{-28} \quad C14=-0.429901 \times 10^{-33}$$

$$C16=0.150139 \times 10^{-38}$$

5面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4=0.304447 \times 10^{-09} \quad C6=0.841652 \times 10^{-14}$$

$$C8=-0.812334 \times 10^{-18} \quad C10=0.246171 \times 10^{-22}$$

$$C12=-0.405382 \times 10^{-27} \quad C14=0.354438 \times 10^{-32}$$

$$C16=-0.129616 \times 10^{-37}$$

6面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned} C4 &= 0.125772 \times 10^{-8} & C6 &= -0.480305 \times 10^{-13} \\ C8 &= 0.145269 \times 10^{-17} & C10 &= -0.380203 \times 10^{-22} \\ C12 &= 0.642297 \times 10^{-27} & C14 &= -0.605091 \times 10^{-32} \\ C16 &= 0.230862 \times 10^{-37} \end{aligned}$$

7面

$$\begin{aligned} \kappa &= 0.000000 \\ C4 &= -0.517488 \times 10^{-09} & C6 &= 0.153894 \times 10^{-11} \\ C8 &= -0.310039 \times 10^{-16} & C10 &= -0.371708 \times 10^{-21} \\ C12 &= 0.192144 \times 10^{-24} & C14 &= -0.799053 \times 10^{-28} \\ C16 &= 0.108146 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

8面

$$\begin{aligned} \kappa &= 0.000000 \\ C4 &= 0.100557 \times 10^{-09} & C6 &= 0.671798 \times 10^{-15} \\ C8 &= 0.388217 \times 10^{-20} & C10 &= 0.210446 \times 10^{-25} \\ C12 &= 0.849528 \times 10^{-31} & C14 &= 0.138156 \times 10^{-35} \\ C16 &= -0.703129 \times 10^{-42} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$\phi M5 = 416.69 \text{ mm}$$

$$\phi M4 = 418.57 \text{ mm}$$

$$(1) A = 22.99^\circ$$

$$(2) A(M3) = 23.0^\circ ; A(M6) = 23.3^\circ$$

$$(3) |\alpha| = 6.07^\circ \text{ (} 106.00 \text{ mrad)}$$

$$(4) \phi M = 418.57 \text{ mm (第4反射鏡M4において最大)}$$

[0070] 図6は、第2実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。図6(a)では像高100%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図6(b)では像高98%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図6(c)では像高95%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を示している。図6に示した収差図から明らかなように、第2実施例でも第1実施例と同様に、実効露光

領域ERに対応する領域において、コマ収差が良好に補正されていることがわかる。
また、図示を省略したが、実効露光領域ERに対応する領域において、コマ収差以外の他の諸収差、たとえば球面収差やディストーションなども良好に補正されていることが確認されている。

実施例 3

[0071] 図7は、本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系の構成を示す図である。図7を参照すると、第3実施例の投影光学系においても第1実施例および第2実施例と同様に、マスク4(図7では不図示)からの光は、第1反射結像光学系G1を構成する第1凹面反射鏡M1の反射面、第2凹面反射鏡M2の反射面、第3凸面反射鏡M3の反射面、および第4凹面反射鏡M4の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。そして、第1反射結像光学系G1を介して形成されたマスクパターン中間像からの光は、第2反射結像光学系G2を構成する第5凹面反射鏡M5の反射面、第6凹面反射鏡M6の反射面、第7凸面反射鏡M7の反射面、および第8凹面反射鏡M8の反射面で順次反射された後、ウェハ7上にマスクパターンの縮小像(二次像)を形成する。

[0072] 次の表(3)に、第3実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。

[0073] (表3)

$$\lambda = 13.5 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$\text{NA} = 0.35$$

$$H_0 = 160 \text{ mm}$$

$$\phi = 40 \text{ mm}$$

$$\text{LX} = 26 \text{ mm}$$

$$\text{LY} = 2 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	
	(マスク面)	713.24	
1	-1158.35	-353.80	(第1反射鏡M1)

2	∞	0. 0	(開口絞りAS)
3	1425. 98	453. 80	(第2反射鏡M2)
4	402. 89	-200. 00	(第3反射鏡M3)
5	552. 95	617. 30	(第4反射鏡M4)
6	5702. 90	-150. 67	(第5反射鏡M5)
7	1376. 84	150. 67	(第6反射鏡M6)
8	276. 63	-280. 13	(第7反射鏡M7)
9	463. 67	420. 13	(第8反射鏡M8)

(ウェハ面)

(非球面データ)

1面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.128617 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.188285 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.324576 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.494046 \times 10^{-23}$$

$$C12 = 0.575650 \times 10^{-28} \quad C14 = -0.179183 \times 10^{-33}$$

$$C16 = -0.530288 \times 10^{-38}$$

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.103582 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.245441 \times 10^{-13}$$

$$C8 = -0.905903 \times 10^{-18} \quad C10 = 0.172474 \times 10^{-21}$$

$$C12 = -0.578454 \times 10^{-25} \quad C14 = 0.904639 \times 10^{-29}$$

$$C16 = -0.570768 \times 10^{-33}$$

3面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.333951 \times 10^{-8} \quad C6 = -0.224217 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.195882 \times 10^{-17} \quad C10 = -0.132099 \times 10^{-21}$$

$$C12 = 0.522616 \times 10^{-26} \quad C14 = -0.117092 \times 10^{-30}$$

$$C16 = 0.112572 \times 10^{-35}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.155092 \times 10^{-9} \quad C6 = -0.842221 \times 10^{-14}$$

$$C8 = 0.176308 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.285728 \times 10^{-23}$$

$$C12 = 0.276327 \times 10^{-28} \quad C14 = -0.150219 \times 10^{-33}$$

$$C16 = 0.328840 \times 10^{-39}$$

5面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.764043 \times 10^{-09} \quad C6 = -0.205389 \times 10^{-13}$$

$$C8 = -0.261546 \times 10^{-18} \quad C10 = 0.256671 \times 10^{-22}$$

$$C12 = -0.655065 \times 10^{-27} \quad C14 = 0.773422 \times 10^{-32}$$

$$C16 = -0.357232 \times 10^{-37}$$

6面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.749971 \times 10^{-9} \quad C6 = -0.328706 \times 10^{-13}$$

$$C8 = 0.778165 \times 10^{-18} \quad C10 = -0.121914 \times 10^{-22}$$

$$C12 = -0.755950 \times 10^{-28} \quad C14 = 0.6279920 \times 10^{-32}$$

$$C16 = -0.709973 \times 10^{-37}$$

7面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = -0.784826 \times 10^{-09} \quad C6 = 0.132379 \times 10^{-11}$$

$$C8 = -0.482265 \times 10^{-16} \quad C10 = -0.225309 \times 10^{-21}$$

$$C12 = -0.103338 \times 10^{-25} \quad C14 = -0.702458 \times 10^{-28}$$

$$C16 = 0.579001 \times 10^{-32}$$

8面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C4 = 0.863876 \times 10^{-10} \quad C6 = 0.552398 \times 10^{-15}$$

$$C8 = 0.327438 \times 10^{-20} \quad C10 = -0.396075 \times 10^{-27}$$

$$C12=0.600985 \times 10^{-30} \quad C14=-0.858975 \times 10^{-35}$$

$$C16=0.661938 \times 10^{-40}$$

(条件式対応値)

$$\phi M4 = 493.88 \text{ mm}$$

$$\phi M5 = 375.84 \text{ mm}$$

$$(1) A = 21.10^\circ$$

$$(2) A(M3) = 21.1^\circ ; A(M6) = 18.7^\circ$$

$$(3) |\alpha| = 6.02^\circ \quad (105.00 \text{ mrad})$$

$$(4) \phi M = 493.88 \text{ mm (第4反射鏡M4において最大)}$$

[0074] 図8は、第3実施例の投影光学系におけるコマ収差を示す図である。図8(a)では像高100%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図8(b)では像高98%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、図8(c)では像高95%におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を示している。図8に示した収差図から明らかなように、第3実施例でも第1実施例および第2実施例と同様に、実効露光領域ERに対応する領域において、コマ収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、実効露光領域ERに対応する領域において、コマ収差以外の他の諸収差、たとえば球面収差やディストーションなども良好に補正されていることが確認されている。

[0075] 以上のように、上述の各実施例における投影光学系では、波長が13.5nmのレーザプラズマX線に対して、0.35〜0.45の像側開口数を確保するとともに、ウェハ7上において諸収差が良好に補正された26mm×2mmの円弧状の実効露光領域を確保することができる。したがって、ウェハ7上の、たとえば26mm×66mmの大きさを有する各露光領域に、マスク4のパターンを走査露光により0.1μm以下の高解像で転写することができる。

[0076] また、上述の各実施例では最も大きい第4凹面反射鏡M4及び第5凹面反射鏡の有効径が約419mm〜約494mm程度と、十分に小さく抑えられている。このように、各実施例において、反射鏡の大型化が抑えられ、光学系の小型化が図られている。また、一般に反射面の曲率半径が大きくなって平面に近くなると精度良く製造するこ

とが困難になるが、上述の各実施例では曲率半径の最も大きい第2凹面反射鏡M2において中心曲率半径R2が3000mm以下に抑えられているので、各反射面の製造を良好に行うことができる。

[0077] またM3, M6面への光線入射角の最大値Aも、 18.7° ～ 26.1° と 30° 以下に抑えられている。

[0078] また非球面次数は、各面において16次まで使用され、条件の10次以上を満足している。また、像側主光線の傾きもほぼ0であり、テレセントリックな光学系となっている。

[0079] また、上述の各実施例では、マスク4に入射する光線群およびマスク4で反射される光線群の光軸AXとなす角度 α が約 6° 程度と小さく抑えられているので、反射型マスク4を用いていても入射光と反射光との干渉を避けることができるとともに、反射による影の影響を受けにくく、したがって性能が悪化しにくい。また、マスク4の設定位置についてわずかな誤差が発生しても、大きな倍率変化を招きにくいという利点がある。

[0080] 上述の実施形態にかかる露光装置では、照明系によってマスクを照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、図9のフローチャートを参照して説明する。

[0081] 先ず、図9のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク(レチクル)上のパターンの像が投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。

[0082] その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスク

としてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

[0083] なお、上述の実施形態では、X線を供給するための光源としてレーザプラズマX線源を用いているが、これに限定されることはない。例えば、露光光としてシンクロトロン放射(SOR)光を用いることもできる。

[0084] また、上述の実施形態では、X線を供給するための光源を有する露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、X線以外の他の波長光を供給する光源を有する露光装置に対しても本発明を適用することができる。

[0085] さらに、上述の実施形態では、露光装置の投影光学系に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対しても本発明を適用することができる。

産業上の利用可能性

[0086] 本発明は、開口数(NA)が所定値以上である投影光学系及びそのような投影光学系を備えた露光措置として利用可能である。

請求の範囲

- [1] 第1面の縮小像を第2面上に形成する投影光学系において、
前記第1面の中間像を形成するための第1反射結像光学系と、前記中間像の像を
前記第2面上に形成するための第2反射結像光学系を備え、
前記第1反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、凹面の第1反射鏡と
開口絞りを備えた凹面の第2反射鏡と凸面の第3反射鏡と凹面の第4反射鏡とを有し
、
前記第2反射結像光学系は、第1面側から光の入射順に、凹面の第5反射鏡と凹面
の第6反射鏡と凸面の第7反射鏡と凹面の第8反射鏡とを有することを特徴とする投
影光学系。
- [2] 前記第4反射鏡は、前記第2反射鏡と前記第3反射鏡の間の空間に配置されたこと
を特徴とする請求項1に記載の投影光学系。
- [3] 請求項2に記載の投影光学系であって、
d1:第3反射鏡と第4反射鏡の間の面間隔
d2:第2反射鏡と第3反射鏡の間の面間隔
から前記第4反射鏡の位置が以下の条件を満足することを特徴とする投影光学系。
$$0.2 < d1/d2 < 0.8$$
- [4] 前記全ての反射鏡の中心曲率半径の絶対値は300mm〜5000mmの範囲を満足
することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の投影光学系。
- [5] 前記第3反射鏡の中心曲率半径をR3とすると、
$$400\text{mm} < R3 < 2000\text{mm}$$

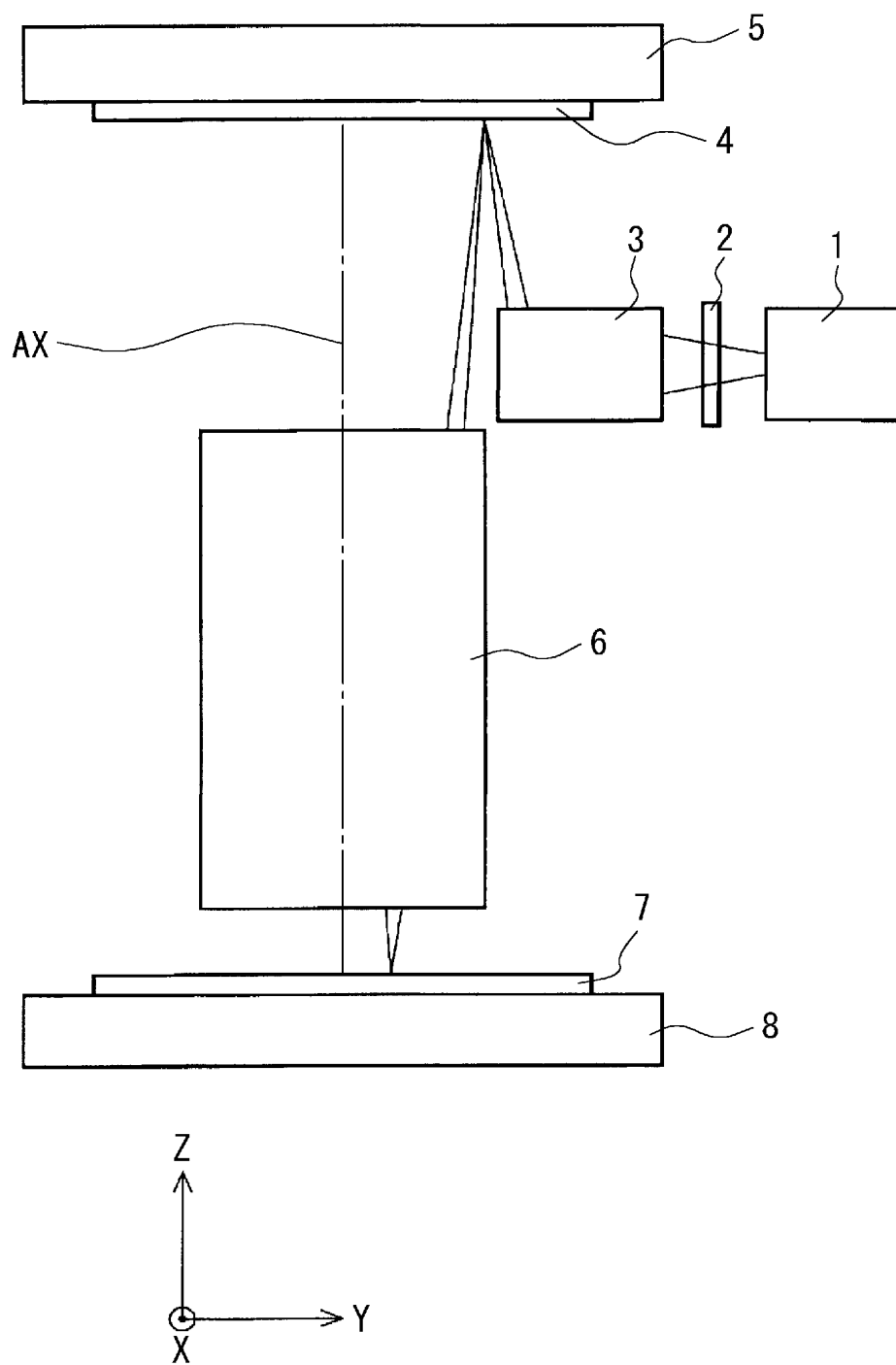
であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の投影光学系。
- [6] 前記第2反射鏡の中心曲率半径をR2とすると、
$$0 < R2 < 3000\text{mm}$$

であることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の投影光学系。
- [7] 前記第6反射鏡の中心曲率半径をR6とすると、
$$0 < R6 < 4000\text{mm}$$

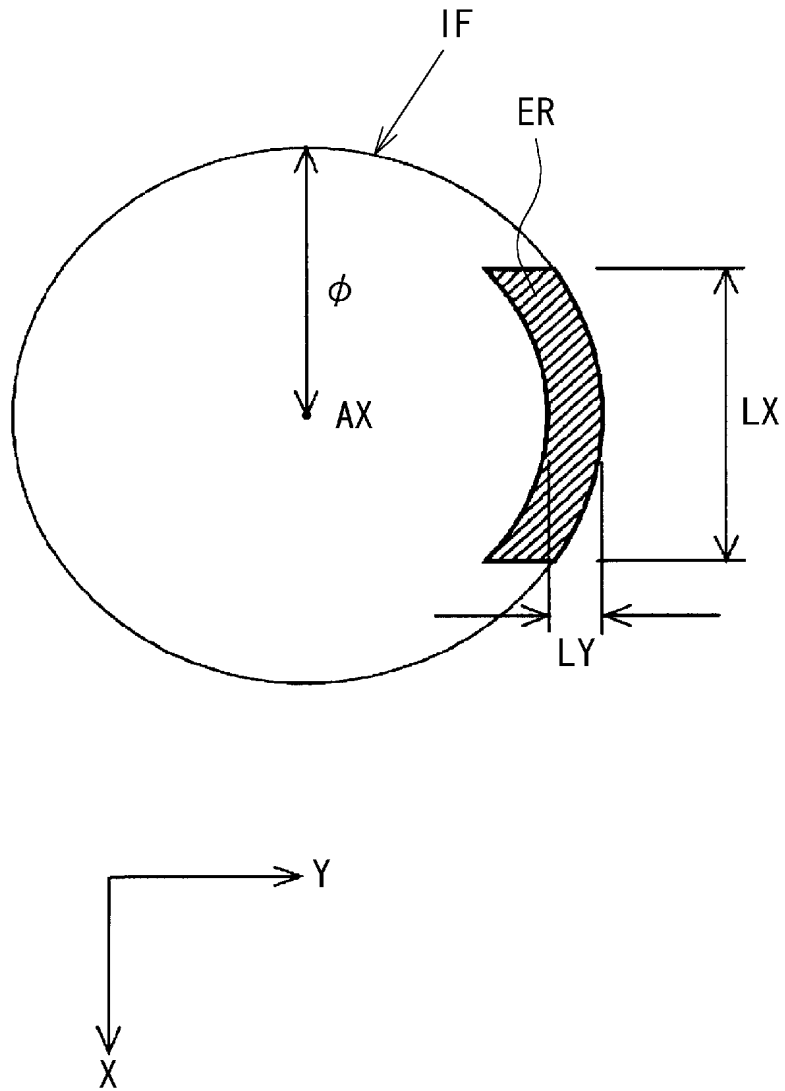
であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の投影光学系。

- [8] 像側開口数NAは、少なくとも0.3以上あることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の投影光学系。
- [9] 前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクのパターンを前記第2面に設定された感光性基板上へ投影露光するための請求項1乃至8のいずれか1項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。
- [10] 前記照明系は、露光光としてX線を供給するための光源を有し、前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を相対移動させて、前記マスクのパターンを前記感光性基板上に投影露光することを特徴とする請求項9に記載の露光装置。

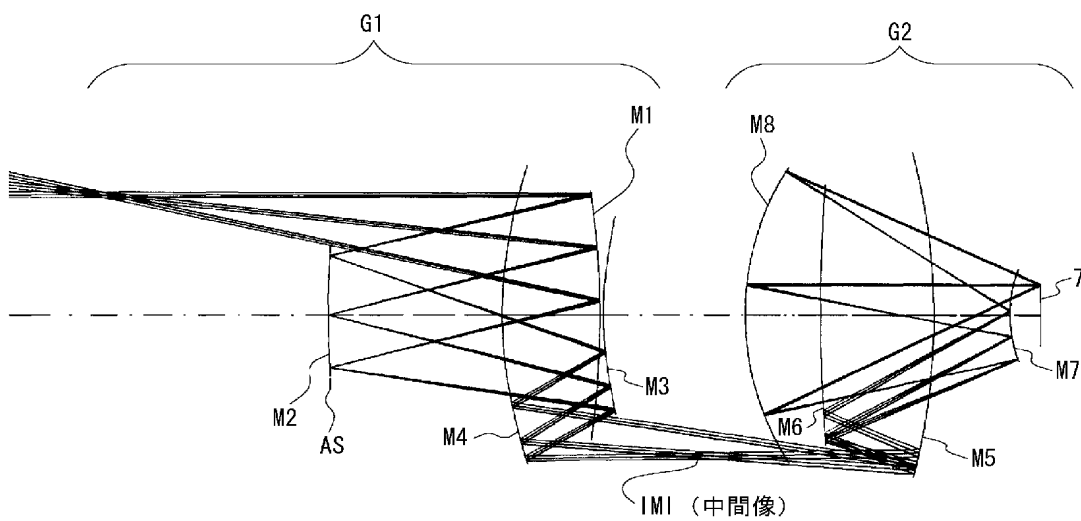
[図1]



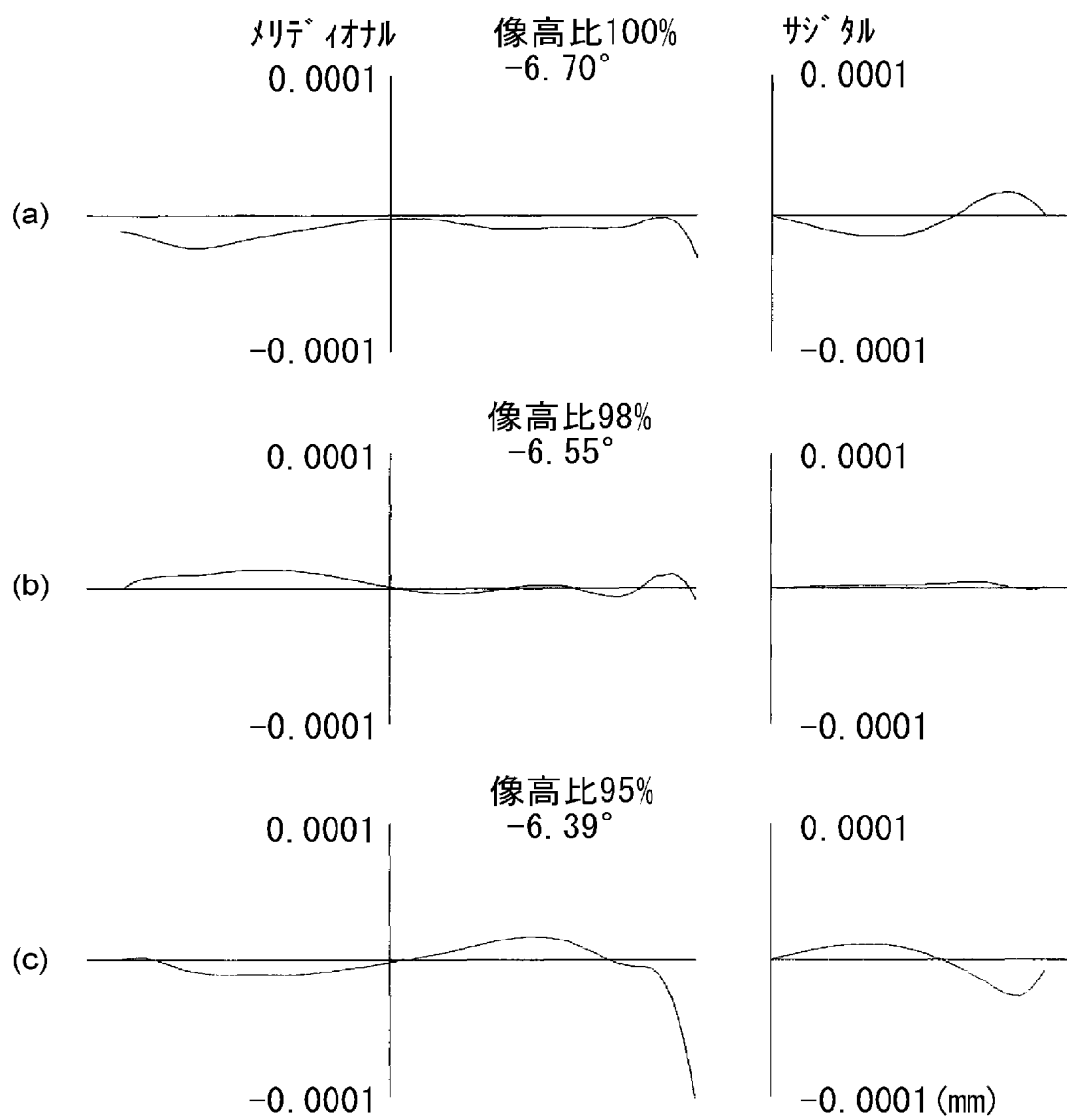
[図2]



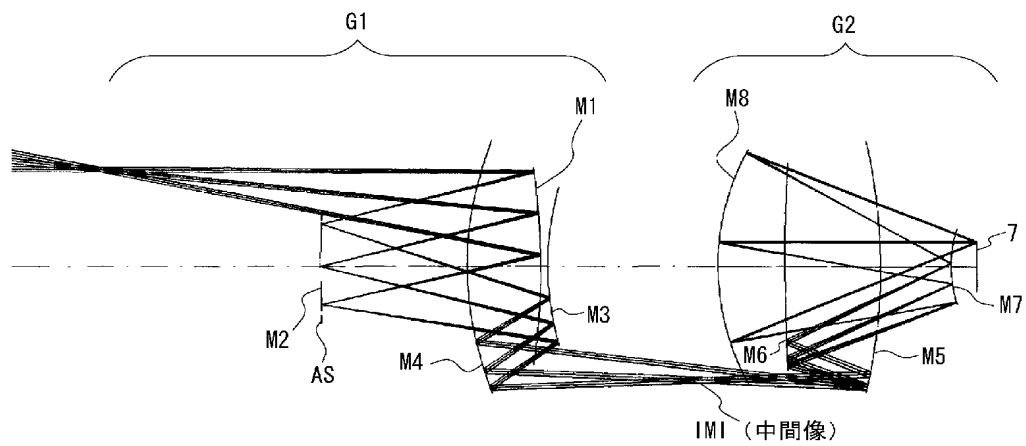
[図3]



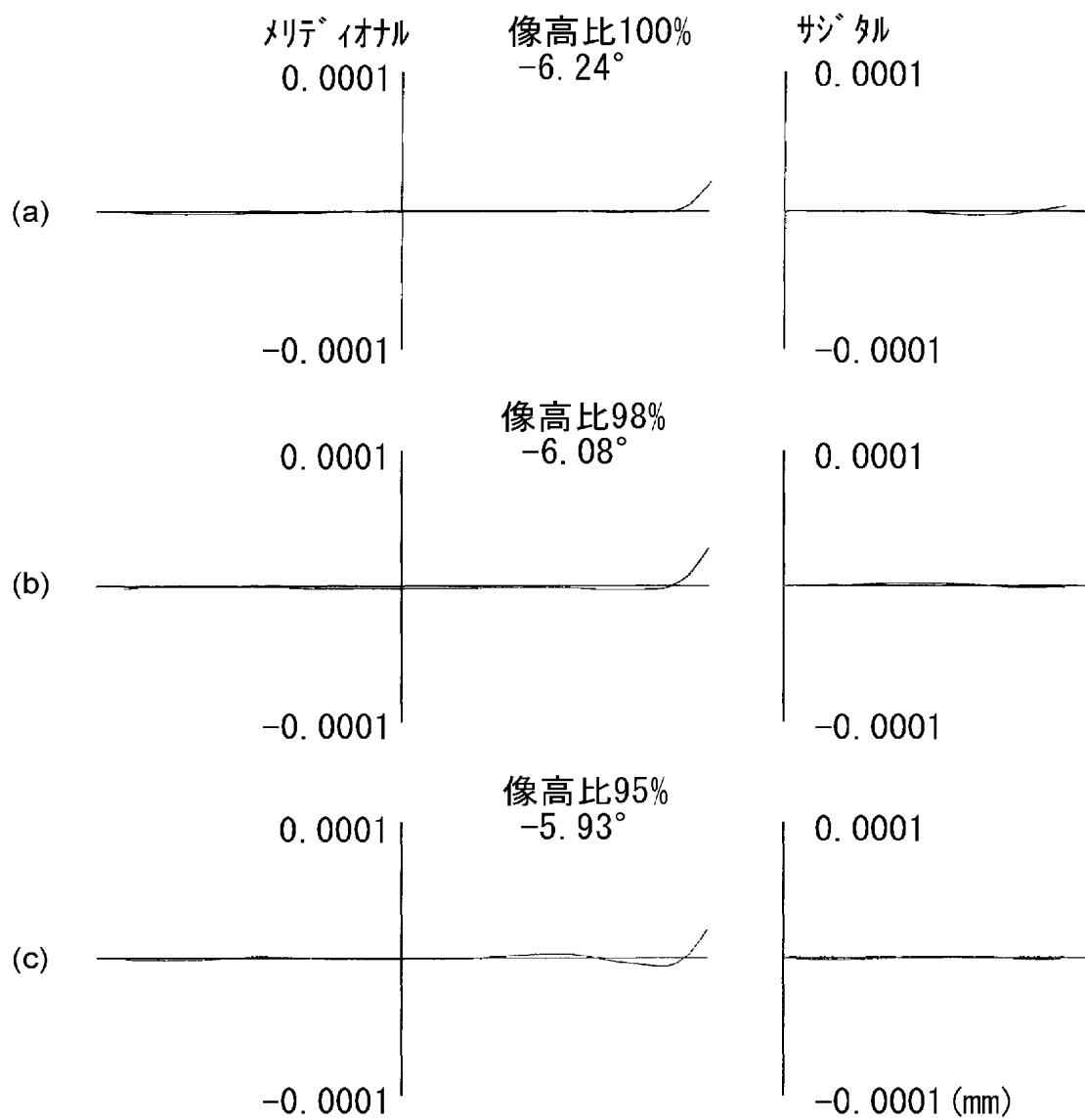
[図4]



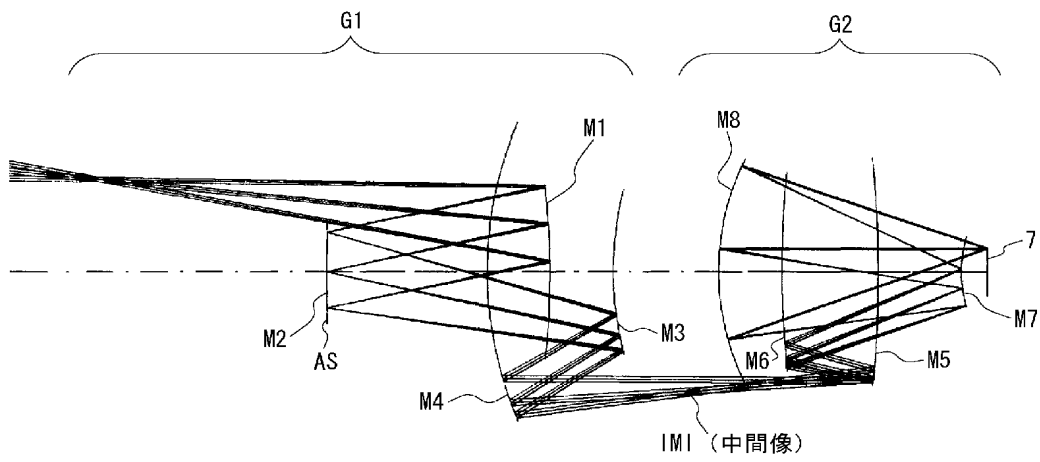
[図5]



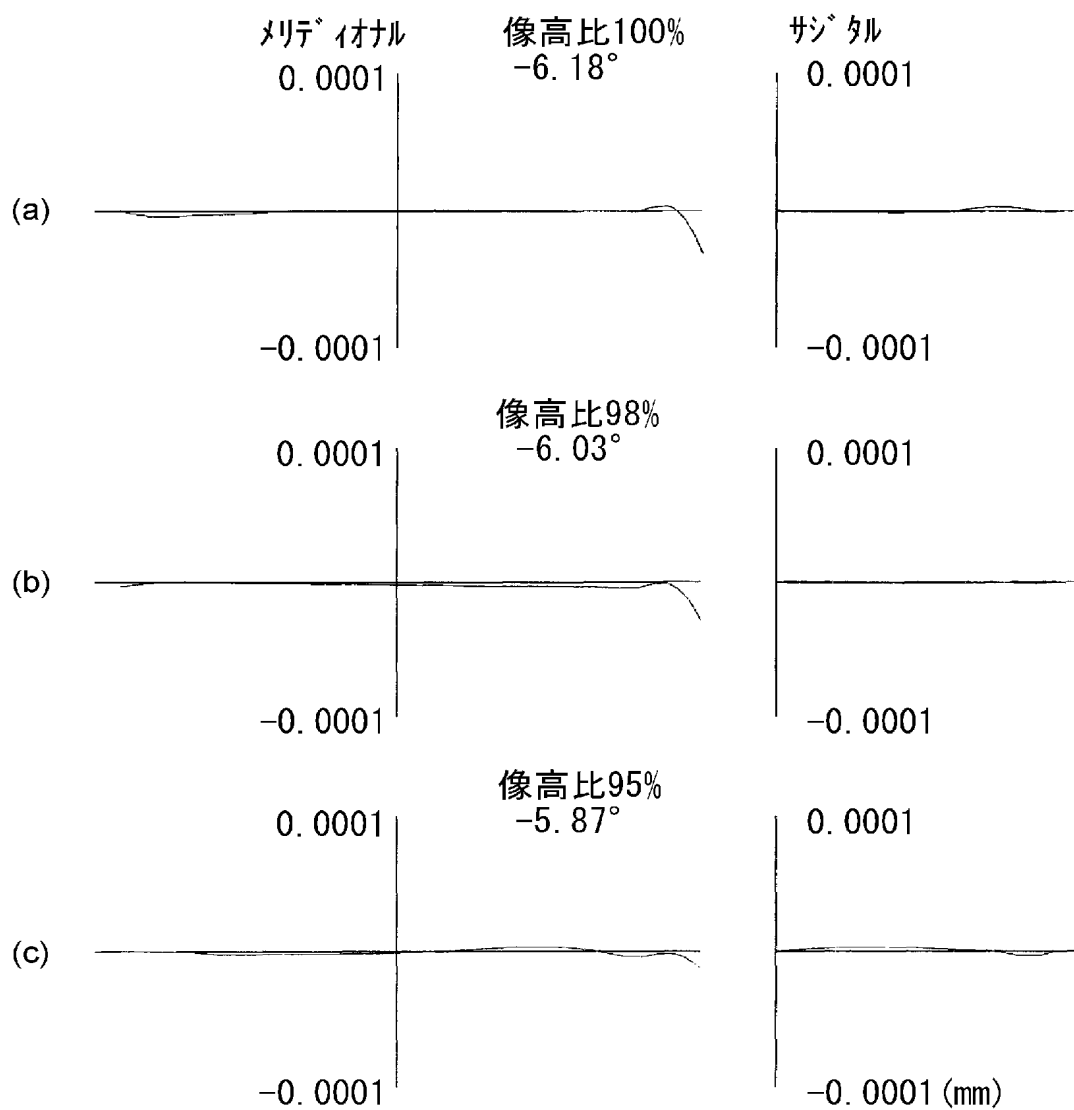
[図6]



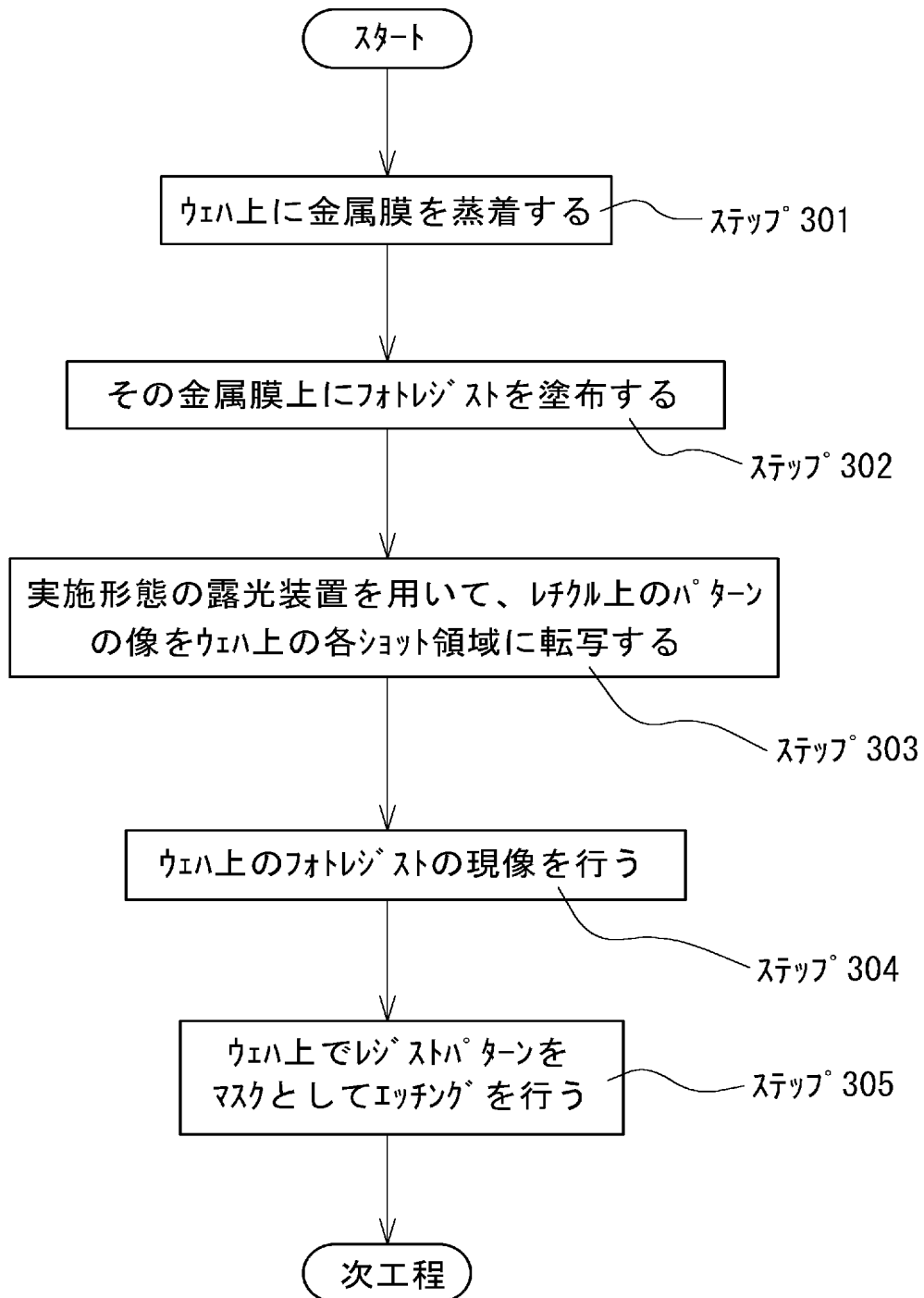
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B17/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-116382 A (Nikon Corp.), 19 April, 2002 (19.04.02), Full text; all drawings; particularly, Par. Nos. [0030], [0046]; Figs. 2, 10 (Family: none)	1-10
Y	JP 2002-107630 A (Carl-Zeiss-Stiftung trading as Carl Zeiss), 10 April, 2002 (10.04.02), Full text; all drawings; particularly, Par. Nos. [0025] to [0027], [0045], [0046], [0050], [0054], [0065] to [0070]; Fig. 5 & EP 1178356 A2 & EP 1178356 B1 & US 2002/0056815 A1 & DE 10037870 A1 & KR 2002011340 A & TW 538257 A	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
23 March, 2005 (23.03.05)

Date of mailing of the international search report
05 April, 2005 (05.04.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019097

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-235144 A (Carl-Zeiss-Stiftung trading as Carl Zeiss), 29 August, 2000 (29.08.00), Full text; all drawings; particularly, Claims 1, 4, 9 to 10; Par. Nos. [0017], [0018] & EP 1035445 A2 & US 6353470 B1 & US 6600552 B2 & US 2004/0051857 A1 & US 2004/0057134 A1 & US 2004/0070743 A1 & DE 19948240 A1 & KR 2000076656 A & TW 464768 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ G02B 17/00		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ G02B 17/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 : 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-116382 A (株式会社ニコン)、2002.04.19、全文、全図、特に、[0030]、[0046]、「図2」、[図10] (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2002-107630 A (カール ツァイス シュティフトゥング トレディング アズ カール ツァイス) 2002.04.10、全文、全図、特に、[0025]-[0027]、[0045]、[0046]、[0050]、[0054]、[0065]-[0070]、[図5] & EP 1178356 A2 & EP 1178356 B1 & US 2002/0056815 A1 & DE 10037870 A1 & KR 2002011340 A & TW 538257 A	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 23.03.2005	国際調査報告の発送日 05.4.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森内 正明	2 V 9 2 2 2
電話番号 03-3581-1101 内線 3269		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-235144 A (カール ツァイス シュティフトゥング トレイ ディング アズ カール ツァイス) 、2000.08.29、全文、全図、特 に、[請求項1],[請求項4],[請求項9]-[請求項10],[0017],[0018] & EP 1035445 A2 & US 6353470 B1 & US 6600552 B2 & US 2004/0051857 A1 & US 2004/0057134 A1 & US 2004/0070743 A1 & DE 19948240 A1 & KR 2000076656 A & TW 464768 A	1-10